菇類病蟲害之非農藥防治技術

李瑋崧、林宗俊、呂昀陞、石信德、吳寬澤、陳美杏

行政院農業委員會農業試驗所植物病理組
電子郵件：weisungli@tari.gov.tw；傳真：04-23302803

摘　要

越來越多人食用菇類訴求的是健康，在此前提下消費者願意花費比一般蔬菜高的價格購買菇類。菇類栽培雖然可以做到不使用農藥，但是臺灣環境的高溫多溼、自然災害頻仍，衛生管理確實不容易。鑒於農民的需求，農業試驗所初步進行拮抗微生物的篩選，目前已測試「蔡十八」在培養皿中對木黴菌和秀珍菇的拮抗現象，可抑制木黴菌生長而不抑制秀珍菇菌絲。另外也針對於菇類栽培時較常發生的綠黴病，執行拮抗微生物的篩選，初步發現部分具抑制效果的菌株，將持續進行研發。國外有用非農藥製劑 nemacel®、nemycel®和蘇力菌(Bti)防治蕈蠅，以 Zivion® M 防治洋菇褐斑病，但此 4 支產品目前均未在臺上市。目前大多數菇類缺乏安全用藥規範與推薦藥劑，絕大部分菇類都無法利用農藥。在有合格的農藥推薦使用前，不該濫用。嚴格執行衛生管控，漂白水與肥皂液用來清潔菇舍內外，配合早期的病蟲害移除、石灰撒布等非農藥防治方法並用，著實能有效管理的！

關鍵詞：　菇類、病蟲害、非農藥防治

緒　言

菇類為低熱量且含豐富蛋白質與人體必需營養素的健康食材，近年來也因其保健價值而躍然成為餐桌上的新寵，在臺灣的環控技術支持下，多樣化且一年四季皆可購得亦是其特點。菇類栽培不像其他的農作物靠天吃

飯，而是可以在設施下，控制各項環境條件進行的農業，且其所需栽培基質都要經過不同程度的消毒，如堆積發酵、巴士德滅菌、高溫高壓殺菌等，消毒後接種大量菇類原種使成培養料內絕對優勢微生物，已使可能病原菌或污染雜菌難以侵入，再嚴格控管菇舍內外的清潔衛生，實已可防杜病害。然而，臺灣位菲律賓海板塊及歐亞板塊交界，為地震頻繁國家，且熱帶氣漩和颱風發生頻度極高，加之本島高山縱貫、河短流急，各種天然災害發生後，各種病原菌與害蟲容易憑藉著高溫多濕的地理條件快速蔓延，雖平時注意清潔衛生管理恐也措手不及。在突然遭遇病蟲害威脅時，菇農常只能望天興嘆，或鋌而走險施用未經核可的農藥，導致用藥無效、殘毒要罰的窘境，研發病蟲害防治辦法實是刻不容緩！在低毒性農藥的篩選，以及安全使用方法擬定外，非農藥的防治技術更是可以立即上陣，不須經過冗長的安全性測試與申請流程，故近年來農試所也逐步進行了一些非農藥防治資材的研究。在此，先就各國相關研究資料與本所初步成果做簡單介紹。

病蟲害三角關係

在傳統的作物病害描述上，一般普遍認同當感病的寄主作物、病原菌(或害蟲)與適於孳生環境這三因子同時存在時，病害才可能發生(吳, 1987)。而就菇類而言，不像植物分成根、莖、葉、花等器官，因此菇與病原菌間的抗感性也就不同於植物，影響菇類抗病的因素在結構抗性上的可能性也許較少，而菇的分泌物是否抗菌、菇本身是否耐病原菌的毒素或分泌物等因素可能與抗病較為相關。但是抗病育種是條漫漫長路，要育成能耐病或抗病而又不失原有風味的菇類品系，在數百年的菇類栽培實踐中，似乎能看出是較為困難的。不過如前所述，菇類栽培原就是在可控管的環境下進行，精進設備與栽培管理技術可能更實際且迅速，因此抗病育種便成了較不經濟的選項。

就病原菌或害蟲而言，絕大部分菇類病原菌及害蟲都可在接種前殺菌除滅，但由於各種菇類的種植特性差異，需要多潮次採收的洋菇、香菇、草菇、秀珍菇、木耳等菇類便相當容易在栽培採收間期罹病，或者遭遇蟲害威脅，這一類菇的共同特徵是產能集中龐大，因此需工量大！部分菇農為了節省開支，選擇簡化了栽培場所的設備需求，連基本的防蟲網或過濾材質也都沒有購置，栽培時又濕度太高，造就了適合罹病和滋養害蟲的環

境。就環境因子而言，溫度、濕度、通氣和光線都是可控的，但是偏差的認知與賭博的心態往往把出菇環境搞得一蹋糊塗，害蟲與病害橫生。基本上，病害或蟲害之發生受三者彼此相互影響，缺一則不成病蟲害，只要能阻止病原菌或害蟲侵入就不會有病蟲害發生，故防治策略都是以預防為主的。

農藥之隱憂

用農藥殺死病原菌及害蟲，通常是在病蟲害發生時農民最直接的反應，但是藥劑施用不當時會有菇體畸形 (Royse, 2003)或減產 (黃, 2016；Grewal & Richardson, 1993)，而且使用農藥容易衍生包括抗藥性 (resistance)、自然控制枯竭 (depletion of natural controls)、生物放大 (biomagnification)、環境汙染 (environmental contamination)、物種位移 (species displacement)、內分泌干擾 (endocrine disruption)及人類健康危害 (human health danger)等問題 (Coles *et al*., 2002)。現售的農藥，無論是殺菌劑或殺蟲劑均非以菇類栽培為主所研發，貿然使用於菇類栽培是相當危險與不負責任的行為。

首先，菇舍內部環境穩定，農藥噴灑其中不會遭受風吹、日曬、雨淋以及眾多環境微生物的降解，各種農藥所設定的安全採收期在菇舍內還有疑義！而且菇類栽培採收間期甚短，各個出菇潮次間約僅 2~3 週，在這間隔內施用任何有效果的現行農藥，大概都無法於下個潮次採收到無殘毒的菇，更不要說有些從下種到出菇僅 40 多日的菇種，或者下種後不到 10 日即有菇可採的草菇，在下種後即對太空包或菇床噴灌農藥的人，要如何安心呢？徹底殺菌，並且規範管理好下種的步驟流程以及製包場環境清潔衛生，原本就能夠防範病蟲害孳生了 (廖, 1988；潘&陳, 1992；黃, 2014)，草菇栽培料上床後以蒸汽升高栽培室內溫度達一定時間，一樣也能逼殺料內害蟲和除去大多數有害微生物 (黃, 1973；王, 2008)。而既然預防的操作即能有效防杜病蟲，有識之士在推行菇類病蟲害防治方法時，大多推行綜合病蟲害管理 (integrated pest management, IPM)，以各式的衛生管理原則為先，把用藥列為最萬不得已的途徑 (Coles *et al*., 2002；Sodhi and Kapoor, 2010)。

非農藥防治策略

空舍時期環境衛生維護

空舍時期之環境衛生，往往決定下次栽培時之成敗，若徹底執行衛生消毒，可大幅度減少環境中有害生物族群將，使再次栽培初期之病害與蟲害發生機率減少,若此一階段無法確實,環境中常見之木黴菌 (*Trichoderma* spp.)、紅色麵包黴菌 (*Neurospora* spp.)等病原菌族群不只無法降低，還有可能逐次累積，可能成為下次栽培時重要之病害問題。傳統香菇栽培之農友，多半在清空太空包後，會先對菇舍進行簡單之清理，之後再以農藥對環境中之有害生物進行除滅，最後於地面灑上石灰，以避免空舍時期有其他有害生物侵入菇舍，在重新入太空包前再檢視一次菇舍內的害蟲密度，必要時重複一次上述的過程。

空舍時以農藥處理過環境對於栽培本身並無太大的殘毒問題，但臺灣某些地區的菇寮往往都比鄰而居，今日你在施用農藥時，可能恰巧是隔壁下風處的入包日，對鄰居的身體或太空包都是威脅。實際上，菇寮既已是空空如也，施用農藥不也僅是心理作用嗎？只要在清寮時以肥皂水充分的洗潔內部與通氣門窗，大致上所有病原菌和害蟲都會被洗脫和悶死，必要時再以 0.5-0.6%次氯酸鈉溶液(即稀釋漂白水)沖洗過內外,再灑上石灰除溼和忌避害蟲，菇舍的清潔即已完成。之後在入新太空包或進新料前，只要維持內部的乾燥和整潔便是。中間若相隔太久，可於入新包或新料前再重複一次肥皂水的清洗並放乾。(皂液與漂白水均為有機栽培許可用環境清潔消毒劑，皂液可以無患子油替代。)

栽培時期菇舍環境衛生維護

栽培時期在木生類菇種包含了製包/罐、殺菌、接種、養菌、出菇、採收、翻菌、出菇、採收等階段，在草腐性菇種則包含了前發酵、後發酵、下種、養菌、出菇、採收、翻菌、出菇、採收等階段，栽培期間之環境衛生管理攸關出菇成敗，為決定後期病蟲害發生與否之關鍵，但許多農友此時卻較為隨便。此時期若環境衛生管理不當，而招致病蟲害發生，會使得病害在菇舍中快速蔓延、蟲害迅速擴大，導致收益嚴重損失。在栽培時期主要仍是以環境衛生管理為主，但要加強員工的訓練，使其認識病蟲害，養成不沾染罹病菇體或栽培料四處散播、可協助早期移除罹病物件、注意

害蟲等習慣 (Oei, 2016)、發現罹病太空包時應即刻移除並遠離栽培庫房、進出庫房時應避免長時間將門打開、維持栽培庫房內乾淨、採收後立即去除殘體以避免其腐壞散發氣味誘引害蟲。

預防勝於治療

若真不幸發生病蟲害，太空包/栽培瓶可直接以垃圾袋打包攜出丟棄，菇床可在早期發現時即挖除病部或害蟲群聚處，並撒石灰於其上，避免病蟲害持續蔓延。而如前所述，病蟲害有三角關係存在，利用此知識來防除病蟲害可得一最有效的方法，排除！排除病原菌與害蟲，使培養空間沒有病蟲害。如平時養成將菇寮內外垃圾、廢料清空習慣，倉庫遠離養菌室與出菇室，可減少雙翅目昆蟲與蟎發生的機率 (廖, 1988)。就好比機場的防檢疫措施，禁止你攜帶有害微生物可能侵染的水果入境一般，在菇舍的興建之初，即將空氣過濾系統、防蟲網、淨水系統、紫外線殺菌燈具、出入緩衝區、淋浴消毒室、關鍵區氣浴出入口等物理防範措施建立好，營運開始即在重要關口設置害蟲誘殺裝置(黃色黏蟲紙、殺蟲燈等) (黃, 2014)避免害蟲侵入。製程上則須確保太空包/栽培瓶獲得完全滅菌，或者堆肥有完全腐熟且濕度適中，而且從開始出菇的誘導階段即須嚴格控管水分，不可讓菇傘上有水滴，以免細菌滋生造成細菌性病害 (Oei, 2016)。能夠嚴格執行衛生管制，必可防止「病從口入」！

生物防治

在各式的清潔消毒、物理隔絕以及現場管理的控管下，疏漏也是偶會發生。在臺灣常見的病蟲害，像 *Trichoderma* spp.引起各式菇類之綠黴病 (green mould disease)、*Mycogone perniciosa* 引起之洋菇褐痘病 (wet bubble disease)、*Verticillium fungicola* (*Lecanicillium fungicola*)引起之洋菇褐斑病 (dry bubble disease)、*Pseudomonas tolaasii* 引起的細菌性病害 (bacteria blotch)及各種雙翅目昆蟲、跳蟲和蟎等造成之蟲害，在良好的衛生管理以及栽培現場濕度控制下皆可讓發生率降至最低，但國人普遍有預防重於治療的錯誤用藥觀念，因而錯用農藥的現象不在少數，雖於法不容，然而濫用農藥危害的是國人健康與國家形象，希望可以找到合適的方式解決農民的生產問題。

於環境衛生管理的實踐，以前述的漂白水與肥皂水做清潔都可獲得良好改善，減少病蟲害孳生，但漂白水和肥皂水即使低濃度仍有傷害菇菌之虞，二者都不甚適合於栽培間期的常態使用，生物防治劑可能在栽培間期使用是最適合的。為了使用方便，我們曾嘗試以通行的生物防治菌為標的做測試，利用了「蔡十八」做綠黴病的防治試驗(如圖一)，其抑制 *Trichoderma* spp.的效果不錯，也不妨礙秀珍菇菌絲生長，不過在直接噴佈時還有技術性問題待克服，試用時部分菇體有細菌斑點病狀的病斑出現，還需要去釐清是否合宜或者需修改蔡十八培養液之配方；不過在段木種植場或菇場外圍要降低 *Trichoderma* spp.族群數的話，蔡十八應該是可以立即派上用場的。

目前我們也透過環境微生物的蒐集，在篩選各式可拮抗木黴菌又不傷害菇類菌絲的潛力微生物，先利用點接的方式快速篩選可抑制木黴菌生長的微生物(如圖二)，抑制圈大而明顯者即為潛力微生物，再將這些抑制能力不錯的潛力微生物，同樣利用點接的方式接種於菇類菌絲接種點周圍(如圖三)，若這些潛力微生物抑制菇類菌絲生長較差的，則可視作可能發展的生物防治資源菌種。

國外目前有些針對木黴菌防治所做的微生物篩選，顯示 *Bacillus lichenformis*、*B. subtilis* (Oei, 2016)和 *P. fluorescens* (Shah & Nasreen, 2011)都具有相當潛力，其中 Shah 及 Nasreen 在 2011 的試驗，接種秀珍菇前混拌 *B. subtilis*-Π 菌株於稻草培養料中，再分別接種 *T. harzianum*、*T. viride* 及 *T. pseudokoninjii* 三種木黴菌，結果顯示可抑制綠黴病發病率達 5.7%並增加 25.32%產量。而 Adrienn 等人在 2012 以 *B. amyloliquefaciens* 接種於蠔菇以防治 *T. pleurotum*，證明其可作為生物防治並能增加收穫量。

另外，普遍於高濕菇舍內造成洋菇褐菇病/細菌性斑點病害的 *P. tolaasii*，也有許多生物防治研究陸續提出成果，像是 Khanna 等人在 1990 年以 34 個 *P. fluorescens* 和 *P. putida* 的分離株，篩選出一株名為 *P. fluorescens* biovar 1 的抗 *P. tolaasii* 菌株，Tajalipour 等人(2014)嘗試以 *P. putida*、*P. reactants*、*P. fluorescens* 和 *B. subtilis* 測試洋菇褐菇病 (brown blotch disease)的防治效能，評估了洋菇傘重、罹病度和發病率，得到以 *P. fluorescens* 防治 *P. tolaasii* 最有效的結論。而 *B. licheniformis*、*B. subtilis*、*B. coagulans* 及 *Lactobacillus casei* 也都對拮抗 *P. tolaasii* 相當有效 (Oei, 2016)，只是似乎都尚未有商品問世。

除了細菌問題，蕈蠅也是一大栽培障害，早期有使用斯氏線蟲屬的 *Steinernema feltiae* 和 *S. capocapsae* 分別抑制 *Lycoriella auripila* 和 *Megaselia halterata* 的研究 (Grewal & Richardson, 1993；Scheepmaker *et al*., 1998)，當時是評估難以商品化應用，然而之後在德國生物科技公司 e-nema®的研發後推出了兩支產品，nemacel®和 nemycel®，產品標示其可用於黑翅蕈蚋科 (Sciaridae)害蟲，意即幾乎所有菇類雙翅目害蟲都可應付，不過商品主要應用於洋菇，而且臺灣並無販售。

目前，防治蕈蠅除了蟲生線蟲有商品化產品可供利用之外，幾乎眾所皆知對鱗翅目相當有效的蘇力菌，也有一個變種是可以專門針對蕈蠅，即 *B. thuringiensis* var. *israelensis* (Bti) (Coles *et al*., 2002；Royse, 2003)，在美國已使用多年，在 2012 年歐洲食品藥品安全局 (EFSA)也已認證其安全 (Oei, 2016)，惟其使用方法是在栽培基質經過巴士德消毒冷卻後，在混種時添加在料內一起混拌使用，在臺灣的慣行接種方式恐難應用，不過此產品也未曾進口本國，否則應至少可用於菇舍周圍以減少蕈蠅孳生。

此外，另洋菇農擔心受怕的「水傷」，發生便容易大規模傳播的洋菇褐斑病(*V. fungicola*)，荷蘭的跨國企業帝斯曼 (Royal DSM N. V.)也已推出一支名為 Zivion® M 的產品可以防治，這個產品是用納塔爾鏈黴菌 (*Streptomyces natalensis*)所產生的納他黴素 [Natamycin，或稱匹馬黴素 (Pimaricin)]所製，而納他黴素被食品工業用在乳製品和肉類產品的使用已超過 45 年 (Oei, 2016)，因此他很快就通過美國 OMRI (Organic Materials Review Institute)的有機認證。目前該產品是登記用於防治褐斑病，使用說明其在採收前或採收中均可使用。Natamycin 作用機制是使真菌孢子無法發芽 (Oei, 2016)，雖然登記的防治對象只有褐斑病，但就原始的使用方式可以推測該抗生素應是廣效型，大部分真菌孢子可能都會受 Zivion® M 抑制。可惜此產品也還未在臺灣上市。

結　語

菇類具有豐富之營養價值，也是低熱量的非動物性蛋白來源，抗氧化能力高，並且有許多對健康有益的功效報導，其栽培過程能夠全程在與外界隔絕的空間內完成，易於利用安全無農藥的栽培方式生產，能夠給人安全健康的信任感，對於素食者和訴求飲食養生者而言可說是無上至寶。在

本國的規範內，由於種種原因而缺乏大多數菇類的安全用藥規範，也大多無訂定殘留容許量，所以絕大部分菇類都是無法利用農藥來防治有害生物的。當有害生物入侵菇舍時，若無及時發現而施予正確的處置，往往造成菇農嚴重之損失。然而，病蟲害發生有所謂的病(蟲)害三角形 (Disease/ Pest Triangle)，需要寄主(在此即為菇)、適當環境和病原菌(害蟲)三者皆備才發生病(蟲)害，掌握此原則，嚴格實施衛生管理，有效地防範有害生物入侵，其實才是防範菇類病蟲害的根本之道。在有合格的農藥推薦使用前，不應該非法濫用，毒害國人與自己。雖然生物防治藥劑臺灣大多未上市，而國內的相關研究也剛起步，但是漂白水與肥皂液用來清潔菇舍內外確實也可降低病蟲害發生率，在平常配合早期的病蟲害移除、石灰撒布、漂白水消毒等非農藥防治方法並用，著實都能有效管理的！

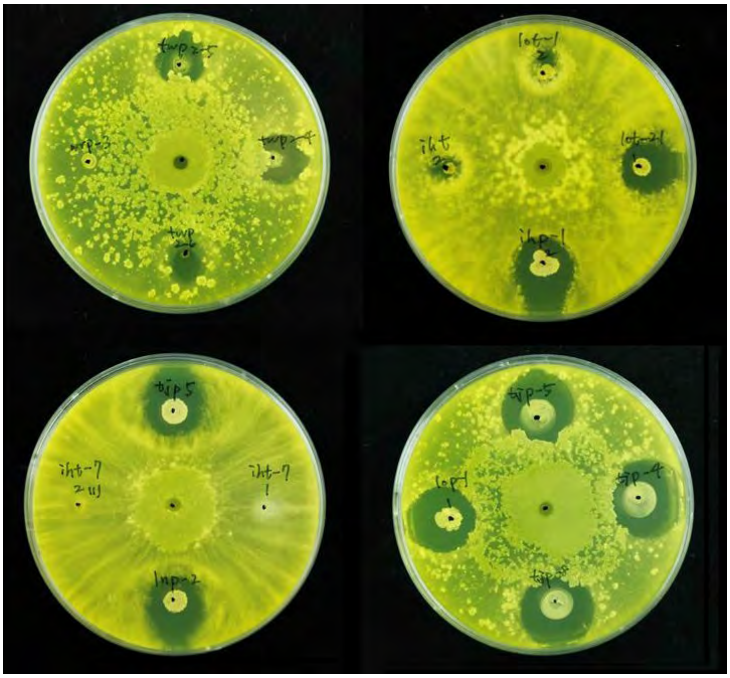
引用文獻

1. 潘崇環、陳成基。1992。食用菌栽培技術圖解。農業出版社。中華人民共和國。北京。212頁。
2. 廖志仁。1988。平菇、滑菇、草菇栽培法。五洲出版社。台北。330頁。
3. 黃正華譯。1973。洋菇栽培手冊。洋菇試驗研究資料編輯委員會。臺灣。361頁。
4. 黃毅。2014。食用菌工廠化栽培實踐。福建科學技術出版社。中華人民共和國，福建省福州市。345頁。
5. 吳文希。1987。植物病害防治學。茂昌圖書有限公司。台北。424頁。
6. 王賀祥。2008。食用菌栽培學。中國農業大學出版社。中華人民共和國。北京。340頁。
7. Adrienn, N., M. László, T. Dóra, H. Lóránt, G. Júlia, A. Zsuzsanna, S. Enikő, V. Csaba, K. László. 2012. Biological control of oyster mushroom green mould disease by antagonistic *Bacillus* species. International Organization for Biological Control of Noxious Animals And Plants-West Palaeartic Regional Section Bulletin, 78. pp. 289-293. (Abstract)
8. Coles, P. S., W. Barber, D. M. Beyer, S. J. Fleischer, C. Keil, D. L. Rinker,

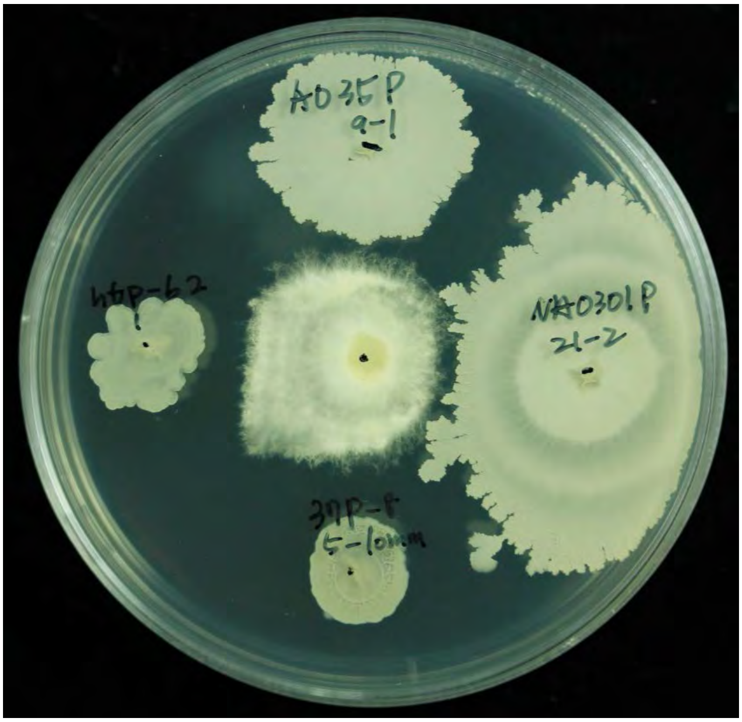
C. P. Romaine, S. P. Whitney, and P. Wuest. 2002. Mushroom integrated pest management. The Pennsylvania State University. University Park. 91 pp.

9. Grewal, P. S. and P. N. Richardson. 1993. Effects of application rates of *Steinernema feltiae* (Nematoa: Steinernematidae) on biological control of the mushroom fly *Lycoriella aurilipa* (Diptera: Sciaridae). Biocontrol Science and Technology 3:29-40.
10. Khanna, P. K., J. M. Olivier, R. S. Samson, and J. Guillaumes. 1990. Isolation, characterization and screening of antagonists of *Pseudomonas tolaasii* for biological control. Indian Phytopathology 43(3):352-360.
11. Oei, P. 2016. Mushroom cultivation IV. ECO Consult Foundation, Amsterdam, The Netherlands. 503 pp.
12. Royse, D. J. 2003. Cultivation of oyster mushrooms. The Pennsylvania State University. University Park. 11 pp.
13. Scheepmaker, J. W. A., F. P. Geels, A. J. Rutjens, P. H. Smits, and L. J. L. D. Van Griensven. 1998. Comparison of the efficacy of entomopathogenic nematodes for the biological control of the mushroom pests *Lycoriella auripila* (Sciaridae) and *Megaselia halterata* (Phoridae). Biocontrol Science and Technology. 8(2):277-287.
14. Shah, S. and S. Nasreen. 2011. Evaluation of bioagents against the infection of green mould (*Trichoderma* spp.) in *Pleurotus sajor-caju* cultivation. International Journal of Plant Pathology. 2:81-88.
15. Sodhi, H. S. and S. Kapoor. 2010. Biological control of mushroom pests and pathogens. Role of biocontrol agents for disease management in sustainable agriculture, 1st Edited. Scitech Publication (India) Pvt. Ltd. p. 423-435.
16. Tajalipour, S., N. Hassanzadeh, H. K. Jolfaee, A. Heydari, and A. Ghasemi. 2014. Biological control of mushroom brown blotch disease using antagonistic bacteria. Biocontrol Science and Technology. 24(4):473-484. (Abstract)

圖一、使用蔡十八菌測試對兩株 *Trichoderma* spp.之拮抗效能，以及是否抑制秀珍菇菌絲生長。左、中培養皿為 *Trichoderma* sp.和蔡十八對峙培養，蔡十八產生的抑制圈相當明顯。右側培養皿是將長滿秀珍菇的培養皿以 0.8cm 打孔器挖去菌絲塊(洞底留薄層培養基)，之後於孔洞內加入蔡十八液，置常溫培養，秀珍菇菌絲均不受蔡十八抑制。



圖二、以點接的方式，將 *Trichoderma* sp.接種於培養皿中央，上下左右各自接種不同微生物，潛力微生物會表現出大範圍的抑制圈。



圖三、以點接的方式，將菇類菌絲體接種於培養皿中央，上下左右各自接種不同微生物，潛力微生物抑制其菌絲的生長能力較差。